

지역난방 시스템에서 제어방법에 따른 공급열량의 해석적 연구

김 성 수[†], 정 상 훈, 문 연 진, 조 성 환^{*}, 유 재 성^{**}

전주대학교 에너지·자원 기술개발 사업단, 전주대학교 기계자동차공학과, 전주대학교 대학원

The Analysis Study on Supplying Heat by Various Control Methods in District Heating System

Seong-Su Kim[†], Sang-Hum Jung, Youn-Jin Moon, Sung-Hwan Cho^{*}, Jae-Sung Ryu^{**}

Energy · Resources R&D Center, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea

**Department of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea*

***Graduate student, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea*

ABSTRACT: The theoretical simulation to predict the variation of supplying heat according to control methods of DHS(District Heating System) have been done by TRNSYS(A Transient System Simulation Program) 16. The physical system for DHS consists of primary and secondary supplying heating loop which is divided by based on heat exchanger for heating demand of building.

The simulation results showed that control of secondary supplying heat had influenced more than primary supplying heat control to total energy consumption of DHS. And the outside temperature reset control of primary supplying heating loop could be reduced until about 4% overheating of each zone.

Key words: District heating system(지역난방 시스템), Heating control(난방제어), TRNSYS, Dynamic energy simulation(동적에너지 시뮬레이션)

———— 기 호 설 명 ————

그 리 스 문 자

- T : 온도 [°C]
- \dot{m} : 유량 [kg/hr]
- C_p : 정압비열 [kJ/kg °C]
- \dot{Q} : 열전달률 [kJ/hr]
- A : 면적 [m²]
- h : 열전달 계수 [kJ/hr m² K]

γ : 제어신호

하 첨 자

- supply* : 공급측
- return* : 환수측
- surf* : 벽체 표면
- DHWS* : District Hot Water Supply
- DHWR* : District Hot Water Return
- wall* : 벽체

[†] Corresponding author
 Tel.: +82-63-220-2907; fax: +82-63-220-3241
 E-mail address: shcho@jj.ac.kr

1. 서 론

1990년대 초반에 유럽을 중심으로 발달한 지역난방시스템은 2차체에 걸친 유류파동으로 인하여 에너지의 효율적 이용과 에너지원의 다원화에 대한 인식이 고조됨으로써 보급이 확대되기 시작하였으며, 최근에는 환경에 대한 인식의 고조와 더불어 선진국을 중심으로 점차 증가하고 있는 추세이다.

지역난방 시스템이 발달한 북유럽의 경우 집단 에너지의 효율적 운영을 위해 열사용 시설을 직접 관리하는 전문회사를 다수 보유하고 있으며, 이들은 공급온도 제어(PID 방식)에서 사용자측 열부하 예측을 통한 Smart Control 제어로의 전환을 통해 안정적인 집단에너지 공급과 에너지 절약 효과를 검증하고 있다. 현재 까지 국내의 고층 공동주택 설계에서는 각 동과 각 호로 공급되는 온수 유량을 균등하게 하도록 하는 정유량밸브 온수 배급시스템을 사용하고 있다. 하지만 이는 인위적으로 유량공급을 균등화시킴으로써 열의 사용량에 따라 공급 온수의 양을 조절하지 못하여 누설 열손실 증대를 야기하고 있다.⁽¹⁾

위와 같이 지역난방에서 제어부분이 공급자측이나 사용자측에서 매우 중요한 역할을 하는 것은 이미 널리 알려진 사실이고, 이에 대한 관심도 높아지고 있는 추세이다.

따라서 본 연구에서는 동적열에너지 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS V16을 통해 지역난방 시스템에서의 제어방식이 열사용량에 미치는 영향을 알아보고, 지역난방 시스템의 1차측과 2차측 제어방식에 따라 에너지 사용량 특성을 분석하고자 하였다.

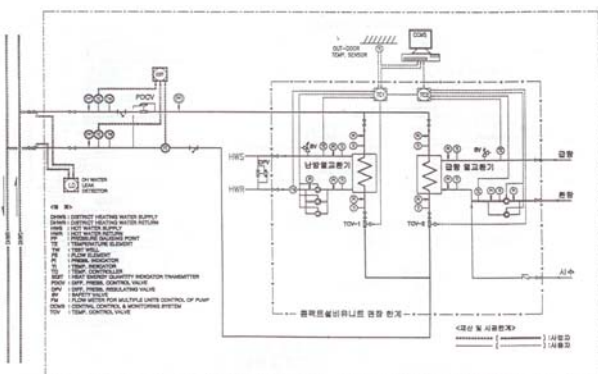


Fig. 1 실제 지역난방 시스템의 개략도

2. 시뮬레이션 대상건물 및 시스템

2.1 시스템 모델링

지역난방 시스템은 지역난방 배관으로부터 열교환기로 열공급을 하는 1차측과 열교환기로부터 얻어진 열을 사용자 측으로 공급하는 2차측으로 구분될 수 있다. 실제 1차측의 열공급은 계절에 따라 약간의 차이가 있지만 약 120°C로 공급되어 65°C로 환수된다. 열교환기로부터 사용자측으로 공급되는 온도는 약 60°C이며, 부하건물을 지나 약 45°C로 열교환기로 환수된다. 한국지역난방공사의 열사용설계기준에 의하면 평판형 열교환기의 경우 전열용량은 3000 kcal/m²·hr·°C로 하고 있다. Fig. 1은 실제 한국지역난방공사에서 사용하는 열공급 시스템의 개략도이다. 본 연구에서는 이 시스템 도면에 근거하여 시뮬레이션에 적용 가능하도록 모델링하였다. Fig. 2는 모델링된 지역난방 시스템의 개략도이다. 본 연구에서는 아파트 3개동을 대상으로 하는 시스템을 모델링하였다.

2.2 대상건물 모델링

해석 대상 건물은 대구지역의 한 아파트를 모델링하였다. 이 아파트는 실제로 한국지역난방공사로부터 열공급을 받고 있다. Fig. 3는 해석 대상 아파트 1세대의 간략도면이다. 이 세대별 도면으로 동단위 모델링을 위해 각 세대별 면적에 층별 세대수와 층수를 곱한 값을 사용하였다.

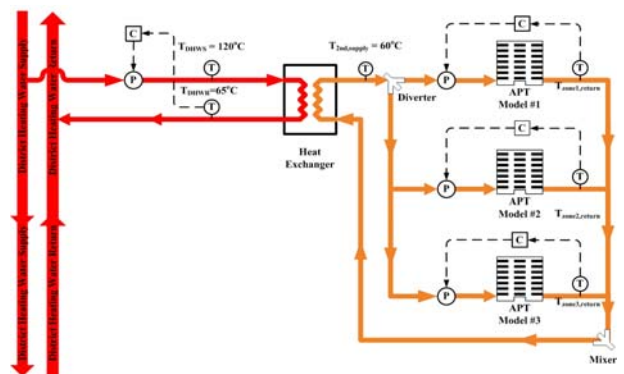


Fig. 2 지역난방 시스템의 개략도



Fig. 3 해석 대상 아파트 1세대의 간략도면

Table 1은 건물을 이루고 있는 벽체의 구성물질의 열전달계수, 비열, 밀도와 창문의 열관류율을 나타낸다. 이 값들은 해당 재료의 일반적으로 사용되는 물성치를 사용하였다. 건물의 Zoning은 3개의 동으로 인접하지 않도록 하였다. Zone1은 동층 4세대, 18층 높이에 창문이 남북방향으로 된 형태이다. Zone2는 동층 4세대, 18층 높이에 창문이 동서방향으로 된 형태이고, Zone3은 동층 4세대, 16층 높이에 창문이 남북방향으로 된 형태이다.

Table 1 벽체재료의 열물성치 및 창문을 통한 총괄열전달계수

재료	열전달계수 [kJ/m h K]	비열 [kJ/kg K]	밀도 [kg/m ³]
Mortar	5.04	0.79	2000
콘크리트	7.56	1	2400
단열재	0.11	1.25	20
석고보드	1.69	1	1000
벽돌	5.04	0.836	2242
Double-Window	열관류율: 2.8 W/m ² K		

3. 동적 시뮬레이션 방법

3.1 해석 방법

건물에너지의 산정을 위한 시뮬레이션은 TRNSYS V.16의 멀티존 해석 모듈인 Type56을 사용하였다. 바닥을 통한 열전달을 위해 바닥면의 모델링은 Active Wall Layer Type을 적용하였다. 이 방식은 펌프(Type 3)를 컨트롤하여 Active

Wall Layer를 통해 건물로 열공급이 이루어지는 방식이다. 이때, 파이프 유동 시스템에서의 실내로의 열전달률을 계산하는 방법은 식(1)로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m}C_p(T_{inlet} - T_{outlet}) \\ &= hA_{wall}(T_{surf,i} - T_{\infty}) \end{aligned} \quad (1)$$

TRNSYS를 이용한 동적에너지 시뮬레이션은 시간별로 외기온, 일사량, 습도 등의 기상데이터를 사용하도록 되어있다. 본 연구에서는 서울, 대구, 부산지역의 기상청 자료를 사용하여 계산하였다. 계산 기간은 1월 1일부터 1월 7일까지 7일간을 계산하였으며, 계산 간격은 0.5시간 단위로 계산이 수행되었다. Fig. 4은 본 연구에서 사용된 기상데이터 중 외기온과 일사량을 나타내고 있다.

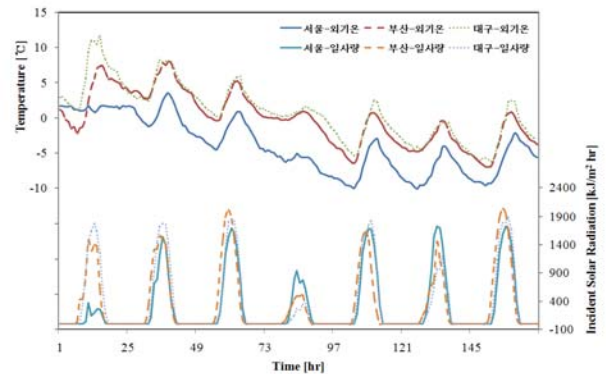


Fig. 4 2005년도 서울, 대구, 부산지역의 시간평균 외기온과 태양열복사 (1월1일~1월7일)

3.2 제어방식

본 연구에서는 1차측과 2차측의 제어방식에 따라 Case를 4가지로 구분하였다. Table 2는 Case별 제어방식을 나타낸다.

Table 2 Case별 1, 2차측 제어방식

Case #	1차측 제어방식	2차측 제어방식
1	정유량 방식	정유량 제어
2	외기온 보상제어	정유량 제어
3	정유량 방식	변유량 제어
4	외기온 보상제어	변유량 제어

여기에서 정유량 제어 방식은 공급 및 환수측의 유량을 일정하게 유지하도록 하는 방식을 말한다.

외기온에 따른 공급수의 사이에도 선형관계가 있다는 점을 착안한 Outdoor reset Control 방법도 난방제어에서 널리 알려진 방법이다.⁽³⁾ 외기온 보상 제어 방식은 외기온에 따라 공급 온도를 조절하는 방식이다. 본 연구에서는 임의의 제어 온도를 사용하여 공급수 온도를 조절 하도록 하였으며, Fig. 5는 외기온 보상을 그래프로 표시한 것이다. 공급수 온도는 한국지역난방공사의 열사용 시설기준으로부터 공급수 온도 범위를 120℃에서 115℃로 공급 되도록 하였으며, 외기온의 범위는 겨울철 기상데이터의 평균적인 온도 범위를 사용하였다.

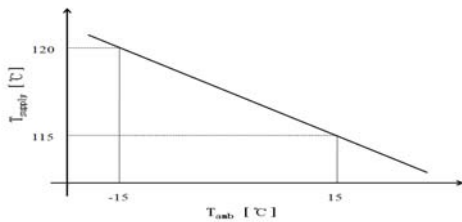


Fig. 5 외기온의 변화에 따른 공급수 온도 보상 그래프

변유량 제어방식은 정해진 온도에서 제어신호가 0과 1의 값으로 출력되는 제어방식이다. 개폐식 제어라고도 하며, 온도의 변동 폭이 큰 것이 특징이다.⁽⁴⁾ Fig. 6는 변유량 제어 방식의 제어 신호를 도식화 한 그림이다. 여기에서 γ_0 는 제어 신호이며, γ_i 는 초기 제어 신호이다. 또, T_H 는 상한 온도, T_L 는 하한 온도이다. ΔT_H 와 ΔT_L 은 각각 상한 온도의 dead band와 하한온도의 dead band이다.

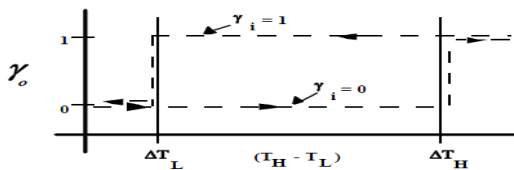


Fig. 6 변유량 제어방식의 제어 함수와 설정온도의 관계

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 연구에서는 지역난방 시스템에서 1차측과 2차측 제어방식에 따른 에너지 사용량의 차이를 공급수 온도와 환수 온도의 차이를 이용하여 계산하였다. 시간별로 계산된 1차측 환수온도 및 2차측 공급, 환수온도를 사용열량을 계산하는데 이용하였다. Fig. 7부터 Fig. 10는 서울지역의 각 Case별 계산된 1차측 및 2차측 환수온도를 나타낸다.

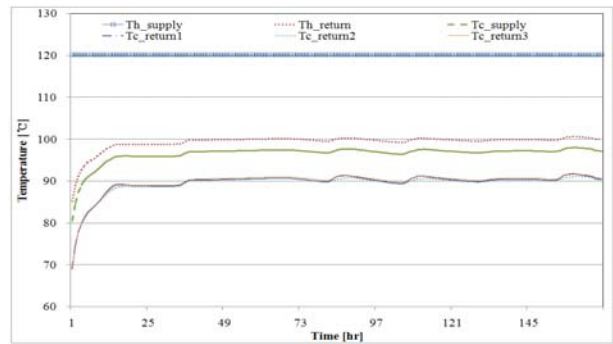


Fig. 7 Case3의 제어방식에 의한 1차측과 2차측의 공급수 온도와 환수 온도

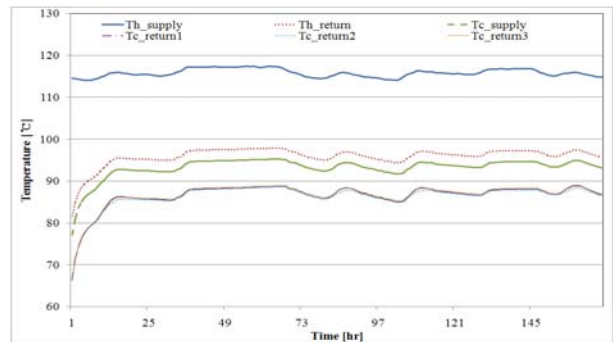


Fig. 8 Case3의 제어방식에 의한 1차측과 2차측의 공급수 온도와 환수 온도

Fig. 7은 서울지역 Case1의 1차측과 2차측의 공급수 온도와 환수 온도를 나타낸다. 1차측 공급수는 정유량 방식의 경우 120℃으로 유지되었으며, 1차측 환수온도는 평균 99.3℃로 유지되는 것으로 나타났다. 2차측 공급 및 환수온도는 각각 평균 96.5℃와 89.6℃로 유지되었다.

Fig. 8은 서울지역의 제어방식이 Case2일 때 공급수 온도와 환수 온도를 나타낸다. 1차측 공급온도와 환수온도는 외기온 보상 제어방식에 의해 정유량 방식보다 약 4℃가 낮게 나타났다. 2차측의 경우 공급 및 환수온도는 Case1보다 약 3℃가 낮아져 각각 평균 93.2℃와 86.6℃로 유지되었다.

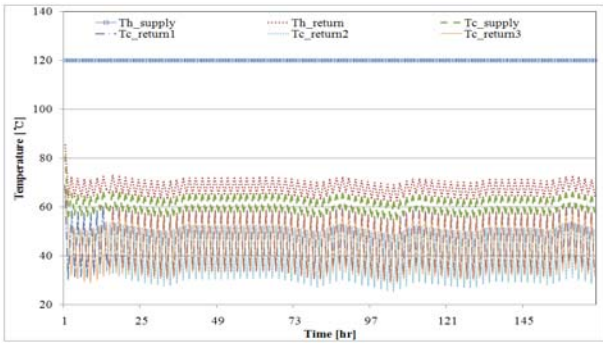


Fig. 9 Case3의 제어방식에 의한 1차측과 2차측의 공급수 온도와 환수 온도

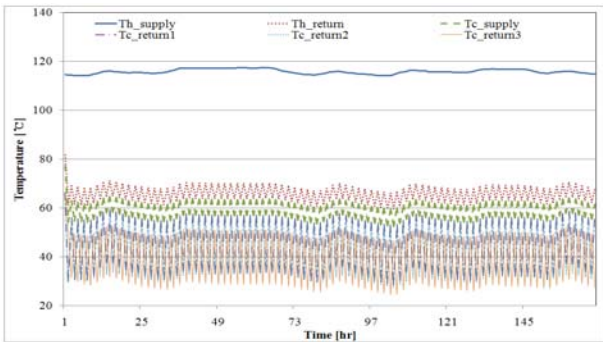


Fig. 10 Case3의 제어방식에 의한 1차측과 2차측의 공급수 온도와 환수 온도

Fig. 9는 서울지역 Case3의 공급 및 환수온도를 나타내며, Case1에서 2차측의 제어방식이 변유량 제어방식으로 변경했을 경우에 해당된다. 1차측의 환수온도는 Case1에 비해 평균적으로 약 30°C 정도 하강하는 것으로 나타났으며, 온도 범위는 최대 85°C와 최저 62°C의 사이에서 환수되었다. 2차측의 경우 공급온도는 평균 61°C로 공급되었으며, 온도범위는 최대 80°C에서 최저 55°C에서 공급이 이루어졌다. 2차측 환수 온도는 평균 43.67°C로 환수되었으며, 공급수와 약 17.3°C의 온도차가 발생하는 것으로 나타났다.

Fig. 10은 Case4의 경우이며, 1차측에 외기온 보상 제어와 2차측에 변유량 제어방식이 적용된 경우에 속한다. 여기에서는 1차측 환수 온도와 2차측 공급, 환수온도가 가장 낮게 나타났다. 또한, 1차측 공급온도는 평균 115.8°C로 공급되었고, 환수는 65.8°C로 이루어졌다. 2차측의 경우 공급온도는 평균 59.1°C로 나타났으며, 환수는 평균 42.4°C로 되는 것으로 나타났다.

Table 3 서울, 부산, 대구지역 기후 적용시 Case 별 1차측 및 2차측 공급수 온도와 환수 온도

지역	Case #	1차측 공급수 온도	1차측 환수 온도	2차측 공급수 온도	2차측 환수 온도
서울	1	120.0	99.3	96.5	89.6
	2	115.8	95.9	93.2	86.6
	3	120.0	68.0	61.0	43.7
	4	115.8	65.8	59.1	42.4
대구	1	120.0	103.2	101.0	95.4
	2	116.6	97.5	95.0	88.6
	3	120.0	72.5	66.1	50.3
	4	115.7	64.4	57.4	40.4
부산	1	120.0	101.5	99.0	92.9
	2	116.9	97.9	95.4	89.0
	3	120.0	69.6	62.8	46.0
	4	116.9	68.1	61.5	45.3

Table 3은 서울, 부산, 대구지역의 1차측과 2차측의 공급 및 환수온도를 나타내고 있다. 상대적으로 외기온이 높은 서울 지역의 공급, 환수 온도가 대체적으로 낮게 나타났다.

시뮬레이션을 실시한 결과로 제어방식에 따른 Zone의 평균 실내온도를 계산하였다. Fig. 11은 서울 지역의 경우로서 Case1과 Case2의 제어방식에서 실내온도가 40°C까지 상승하였으며, 평균온도는 약 36°C로 나타났다. 2차측을 변유량 제어방식으로 한 Case3과 Case4의 경우는 1차측의 제어방법에 상관없이 비슷하게 유지되었으며, 이때의 실내평균온도는 약 17°C로 유지되었다.

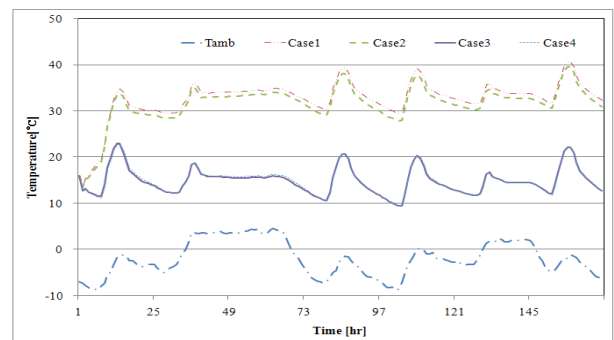


Fig. 11 서울지역 제어 방식별 Zone의 평균 온도 변화 그래프

Fig. 12는 서울, 대구, 부산 세 지역의 제어방식에 따른 열사용량을 비교한 그림이다. 이 열사용량은 작동유체로부터 각각의 3개의 멀티 존으로 전달되는 열량의 합으로 계산되었다. Case1의 경

우가 세 지역에서 모두 가장 높게 나타났으며, 그 중에서 서울지역이 가장 높은 58.3 [GJ/week]의 결과를 보여주었다. 2차측에 변유량 제어를 적용한 Case3과 Case4는 2차측 정유량제어를 한 Case1이나 Case2에 비해 약 50% 정도로 계산되었다. 이는 1차측의 제어에 의한 열사용량 조절보다는 2차측의 제어가 전체적인 열사용량에 영향을 크게 주는 것으로 간주된다.

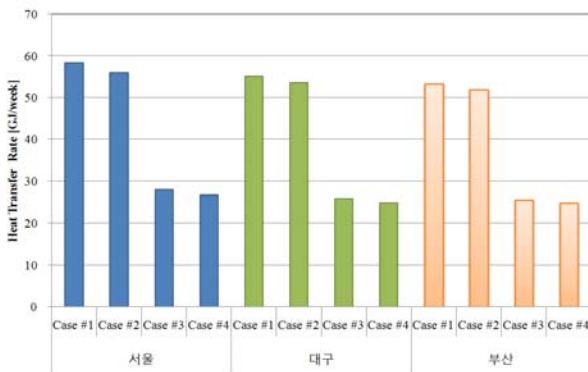


Fig. 13 서울, 대구, 부산지역의 제어방식별 열사용량 비교

Table 4 서울, 부산, 대구지역 기후 적용시 Case 별 열사용량 [GJ/week] 및 Case1 대비 열사용량 [%]

지역	Case #	열사용량 [GJ/week]	Case1 대비 열사용량 [%]
서울	1	58.3	100.0
	2	56.0	96.0
	3	28.0	48.0
	4	26.8	45.9
대구	1	55.1	100.0
	2	53.6	97.3
	3	25.9	46.9
	4	24.9	45.3
부산	1	53.4	100.0
	2	52.0	97.3
	3	25.6	47.9
	4	24.9	46.7

Table 4는 서울, 부산, 대구지역 기후 적용시 Case 별 열사용량 및 Case1 대비 열사용량을 나타내며 2차측을 정유량 제어로 할 경우 변유량 제어할 때보다 2배정도의 열사용량을 보였다.

5. 결론

본 연구에서는 지역난방 시스템의 1차측과 2차측 제어방식에 따라 에너지 사용량 특성을 분석하였으며, 여기에서 동적열에너지 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS V16을 사용하여 지역난방 시스템에서의 제어방식이 열사용량에 미치는 영향을 계산하고 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 1차측의 환수 온도는 2차측의 제어로 조절이 가능하며, 2차측의 변유량 제어를 실제 시스템에서 사용하는 공급, 환수온도와 거의 유사한 온도를 유지하였다.

(2) 2차측을 정유량 제어할 경우 적절한 실내온도보다 과열되었으며, 2차측을 변유량 제어할 경우 1차측의 제어방법에 상관없이 비슷한 열사용량을 보였다.

(3) 지역난방을 하는 경우 1차측의 외기온 보상 제어방식을 사용할 경우 외기 보상 방정식에 따라 외기온에 따라 1~4% 정도의 온도의 과열을 방지할 수 있었으며, 2차측을 정유량 제어로 할 경우 변유량 제어할 때보다 2배정도의 열사용량을 보였다.

참고문헌

1. Jeong-Min Choi, Kuy-Nam Lee, et al, 2007, A Study on the Required Supply Water Temperature Calculating Method for the Control of Multizone Radiant Floor Heating System, Proceeding of SAREK, Vol. 19, pp 77-85
2. Guideline on Design of Heating Utility and Technology of District Heating System, Korea District Heating Corporation, 2001.09
3. ASHRAE, 1996, System and Equipment, American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering, Atlanta, GA, USA
4. Sung-Hwan Cho, Seong-Su Kim, et al, 2007, Application Study of the Predictive Pulse Control for Floor Heating System, Proceeding of the SAREK winter Annual Conference, pp 167-175